



蛇纹石及硼镁石浮选过程中团聚与分散机理

李治杭, 韩跃新, 李艳军, 高鹏

(东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110819)

摘要: 在含有蛇纹石的矿石浮选过程中, 蛇纹石易泥化并吸附于其他矿物表面, 从而降低其他有用矿物的可浮性, 恶化浮选环境。在硼镁石浮选过程中, 蛇纹石可对硼镁石回收率产生较大影响。通过 DLVO 理论, 对蛇纹石、硼镁石在矿浆中团聚吸附本质及其相互作用机理进行深入探讨。结果表明: 矿物颗粒粒度及 pH 值都能对颗粒间作用行为产生影响, 但是后者才是主要影响因素, 其本质是 pH 值改变矿物颗粒表面荷电状态。不同 pH 值条件下, 颗粒间表现出不同的作用行为。pH 值为 9.0 时, 蛇纹石与硼镁石颗粒间、蛇纹石颗粒间及硼镁石颗粒间相互吸引, 易产生团聚现象。当 pH 值为 11.0 时, 颗粒状态随颗粒间距离而变化, 颗粒间距离为 2.5~12.5 nm 时, 呈现出分散状态; 当颗粒间距离小于 2.5 nm 或大于 12.5 nm 时颗粒间相互团聚。

关键词: 蛇纹石; 硼镁石; 浮选; 团聚; 分散; DLVO 理论

文章编号: 1004-0609(2017)-03-0613-08

中图分类号: TD97

文献标志码: A

我国硼矿资源储量丰富, 居世界第五位。目前可利用硼资源主要为硼铁矿与硼镁矿, 但是随着易选硼镁矿资源的长期开采利用, 其资源储量已近乎枯竭。硼作为国民经济及生产中的重要元素, 具有重要的经济和战略价值^[1]。为保证我国硼工业的可持续发展, 加强难选硼铁矿资源开发利用已成为当务之急。中国辽宁丹东地区硼矿资源丰富, 占全国硼矿资源总储量的 58%, 其主要非金属矿物为硼镁石及蛇纹石。蛇纹石作为原矿中主要的脉石矿物, 其矿物含量较高, 与硼镁石紧密伴生, 并且嵌布粒度细^[2~3]。此外, 由于蛇纹石亲水性强, 硬度低、易过磨, 会对硼镁石浮选结果造成不利影响^[4]。因此, 对硼镁石、蛇纹石颗粒在浮选过程中的作用行为展开研究十分必要。

针对矿物颗粒间作用行为的研究, 可对矿物颗粒在浮选溶液中的作用状态进行深入分析, 对浮选具有重要的指导意义。有研究表明, 微细粒蛇纹石不利于镍黄铁矿浮选, 由于二者表面电性差异使得矿物颗粒间产生异相凝聚作用, 蛇纹石将吸附于镍黄铁矿表面, 严重影响镍黄铁矿回收率^[5~6]。此外, 黄铁矿与绿泥石在矿浆中也会产生异相凝聚现象, 并且 pH 值可对矿物颗粒间的分散团聚行为产生影响^[7]。另有研究表明, 白钨矿浮选过程中不同粒度颗粒间也能发生吸附作用, 从而使得不同白钨矿粒级浮选回收率产生较大差别^[8]。可见矿物颗粒间相互作用会对浮选结果会产生

重要影响。

目前, 针对硼镁石浮选行为的研究较少, 微细粒蛇纹石颗粒同硼镁石颗粒间如何相互作用尚不明确, 蛇纹石、硼镁石同种矿物颗粒间能否产生团聚吸附作用尚不清楚。本文作者从理论上研究不同 pH 值条件下, 不同粒度蛇纹石与硼镁石颗粒间以及蛇纹石、硼镁石同种颗粒间在浮选过程中产生的团聚分散现象, 并进行了试验验证。

1 实验

1.1 试验原料

试验所用蛇纹石及硼镁石矿样分别取自辽宁岫岩和丹东。经人工拣选、机械粉碎、陶瓷球磨机细磨和筛分后, 分别获得合格试验样品。蛇纹石粒度小于 38 μm, $d_{50}=11.00 \mu\text{m}$ 。硼镁石粒度小于 38 μm, $d_{50}=11.14 \mu\text{m}$ 。结合化学分析及 XRD 分析结果, 可得蛇纹石及硼镁石样品纯度分别为 96.5% 和 94.5%。

1.2 试验方法

1.2.1 沉降试验

沉降试验在 100 mL 量筒中进行, 矿浆浓度为 30 g/L, 按试验所需条件调节 pH, 沉降 1.5 min 后, 抽取

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51204033); 辽宁省教育厅一般项目(L2014088)

收稿日期: 2016-01-04; 修订日期: 2016-06-02

通信作者: 韩跃新, 教授; 电话: 024-83680162; E-mail: dongdafulong@mail.neu.edu.cn

上层 30 mL 矿浆。对所抽取的矿浆及量筒中的矿浆分别烘干、称取质量。矿物颗粒分散程度用沉降率表征，即剩余矿浆中矿物质量 m 与矿物总质量 M 的比。沉降率越小，分散效果越好；反之，则团聚效果越好。

1.2.2 Zeta 电位检测

采用 Malvern Zetasizer Nano 型电位检测仪对蛇纹石及硼镁石 zeta 电位进行了测定。试验样品分别细磨至 2 μm 以下，分别取 20 mg 置于 50 mL 去离子水中并搅拌。加入 KNO₃ 以维持溶液稳定性，其浓度为 1 × 10⁻³ mol/L。采用 HCl 及 NaOH 调节溶液 pH 值，停止搅拌并静置 20 min 后抽取上清液进行 zeta 电位测定。

2 矿物颗粒间作用能

一般来讲，矿物颗粒在水溶液中表现为分散和团聚两种基本行为。而导致矿物颗粒间分散与团聚行为的根本原因为颗粒间的相互作用能的变化。矿物颗粒间相互作用能主要包含范德华作用能及静电作用能，即 DLVO 理论。范得华作用能存在于一切分子和原子之间，静电作用能则由双电层重叠所引起。试验结果表明，蛇纹石对硼镁石回收率会产生明显的影响^[9]。这可能是微细粒蛇纹石与硼镁石颗粒间相互作用而引起的。根据 DLVO 理论，颗粒间的作用能可表示为^[10]

$$V_T = V_W + V_E \quad (1)$$

式中： V_T 为颗粒间总的作用能； V_W 为颗粒间相互作用的范德华作用能； V_E 为颗粒间静电作用能。

本文作者主要考虑浮选过程中矿物颗粒间的相互作用行为。在矿浆 pH 值分别为 9.0 和 11.0 的条件下，使用 DLVO 理论对矿物颗粒间团聚或分散行为进行分析。在进行计算过程中，将矿物微粒等效于球体，且同种矿物颗粒具有相同球径。

2.1 范德华作用能

范德华作用能普遍存在于各种物质之间，颗粒半径分别为 R_1 、 R_2 的两个矿物颗粒，其相互作用的范德华作用能可表示为^[11]

$$V_W = -\frac{A R_1 R_2}{6H(R_1 + R_2)} \quad (2)$$

当 $R_1=R_2=R$ 时，式(2)可改写为

$$V_W = -\frac{AR}{12H} \quad (3)$$

式中： V_W 为单位面积上范德华作用能，N/m²； H 为颗

粒间分散距离，m； A 为颗粒在真空中的 Hamaker 常数，J。对于两个不同颗粒，设 A_{11} 、 A_{22} 分别为颗粒 1 和颗粒 2 在真空中的 Hamaker 常数， A_{33} 为介质的 Hamaker 常数，那么颗粒 1 和颗粒 2 在介质 3 中的 Hamaker 常数 A 可表示为

$$A = (\sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}})(\sqrt{A_{22}} - \sqrt{A_{33}}) \quad (4)$$

如果为同种颗粒可表示为

$$A = (\sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}})^2 \quad (5)$$

式中：蛇纹石的 Hamaker 常数 A_{11} ，硼镁石的 Hamaker 常数 A_{22} ，水的 Hamaker 常数 A_{33} 。 R_1 、 R_2 分别为硼镁石和蛇纹石颗粒半径， H 为颗粒间分散距离。

硼镁石 Hamaker 常数无法从文献中查到，但是 Hamaker 常数与固体表面自由能有如下关系^[12]：

$$A_{33} = \frac{4\pi}{1.2} \gamma_{SV}^d d^2 \quad (6)$$

γ_{SV}^d 为固体颗粒表面自由能非极性分量； d 为固体颗粒分子间平衡距离，取 $d=0.2$ nm^[13]。

在恒温恒压下，固液界面接触引起的体系自由能变化为

$$\Delta G = \gamma_{SL} - \gamma_{SV} - \gamma_{LV} \quad (7)$$

式中： γ_{SL} ， γ_{SV} ， γ_{LV} 分别为单位面积固-液、固-气和液-气的界面自由能。固液界面接触后，液体在固体表面粘附，那么粘附功按其定义可表示为

$$W_a = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - \gamma_{SL} \quad (8)$$

由 Young 方程可知：

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (9)$$

由式(8)、(9)可得：

$$W_a = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (10)$$

同时，粘附功又可以用两相中各自的极性分量和非极性分量来表示

$$W_a = 2(\sqrt{\gamma_{SV}^d \gamma_{LV}^d} + \sqrt{\gamma_{SV}^p \gamma_{LV}^p}) \quad (11)$$

式中： γ_{SV}^p 、 γ_{LV}^p 分别为固体和液体表面自由能的极性部分； γ_{SV}^d 、 γ_{LV}^d 分别为固体和液体表面自由能非极性部分。

由式(10)、(11)可得：

$$\gamma_{LV} (1 + \cos \theta) = 2(\sqrt{\gamma_{SV}^d \gamma_{LV}^d} + \sqrt{\gamma_{SV}^p \gamma_{LV}^p}) \quad (12)$$

通过测定硼镁石在不同测试液下的接触角，将表 1 数据代入式(12)中，可得到硼镁石颗粒表面自由能非

极性分量 γ_{SV}^d 。采用 JC2000Y 接触角测定仪测得硼镁石在水和乙二醇溶液中的接触角分别为 24.75° 和 31.67° , 结合表 1 数据可得硼镁石 Hamaker 常数 $A_{22}=19.3 \times 10^{-20}$ J。此外, 查阅文献[14]获得蛇纹石 Hamaker 常数 $A_{11}=10.6 \times 10^{-20}$ J, 水的 Hamaker 常数 $A_{33}=4.15 \times 10^{-20}$ J。

表 1 测试液表面自由能参数

Table 1 Surface free energy parameter of test liquids

Test liquid	$\gamma_{LV}/(\text{mJ}\cdot\text{m}^2)$	$\gamma_{LV}^d/(\text{mJ}\cdot\text{m}^2)$	$\gamma_{LV}^p/(\text{mJ}\cdot\text{m}^2)$
Water	72.8	21.8	51.0
Ethanediol	58.2	29.3	19

2.2 静电作用能

当颗粒在介质中相互靠近时, 双电层开始相互接近, 到双电层重叠时, 颗粒间开始发生静电作用。相同颗粒间静电作用能 V_E 可以表示为^[15]

$$V_E = 4\pi\epsilon_a \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \varphi_0^2 \ln[1 + \exp(-\kappa H)] \quad (13)$$

当 $R_1=R_2=R$ 时, 式(13)可改写为

$$V_E = 2\pi\epsilon_a R \varphi_0^2 \ln[1 + \exp(-\kappa H)] \quad (14)$$

异种颗粒间静电作用能 V_{el} 可以表示为

$$V_{el} = \frac{\pi\epsilon_a R_1 R_2}{R_1 + R_2} (\varphi_{01}^2 + \varphi_{02}^2) \cdot \left[\frac{2\varphi_{01}\varphi_{02}}{\varphi_{01}^2 + \varphi_{02}^2} \times \ln \frac{1 + \exp(-\kappa H)}{1 - \exp(-\kappa H)} + \ln(1 - \exp(-\kappa H)) \right] \quad (15)$$

式中: κ 是双电层厚度, $\kappa=0.180 \text{ nm}^{-1}$; ϵ_a 代表相对介电常数, 6.95×10^{-10} ; φ 代表颗粒的表面电位, V, 计算中可使用动电位进行代替^[16]。

3 矿物颗粒间作用行为分析

3.1 蛇纹石与硼镁石颗粒间作用行为分析

矿浆 pH 值能够改变矿物表面电性, 从而使得矿浆中矿物颗粒间团聚与分散行为发生改变。蛇纹石及硼镁石 Zeta 电位如图 1 所示, 蛇纹石、硼镁石的零电点分别为 9.2、7.2。有研究表明^[17], 蛇纹石零电点为 9.6, 试验结果与文献基本吻合。

另有研究表明, 微细粒蛇纹石可吸附于其他矿石表面, 对其浮选过程产生严重影响^[18-19]。本研究中,

主要讨论不同粒度蛇纹石颗粒同微细粒硼镁石颗粒间的作用能。蛇纹石颗粒半径分别为 1、5、10、20、40 μm , 硼镁石颗粒半径为 15 μm , pH=9.0 时, 其表面电位 φ_1 、 φ_2 分别为 -20.37 和 -0.089 mV。其作用能随颗粒间距离变化规律如图 2 所示。

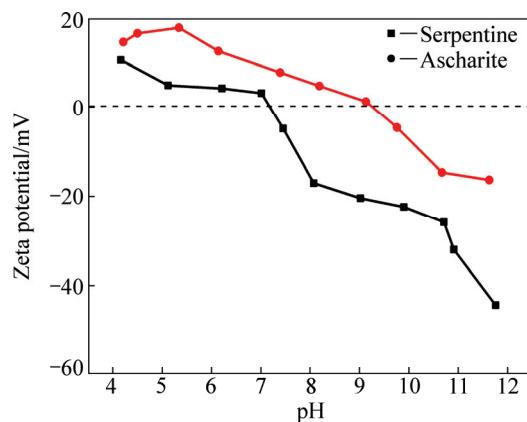


图 1 不同 pH 值时蛇纹石及硼镁石的 Zeta 电位

Fig. 1 Zeta potential of serpentine and ascharite at different pH values

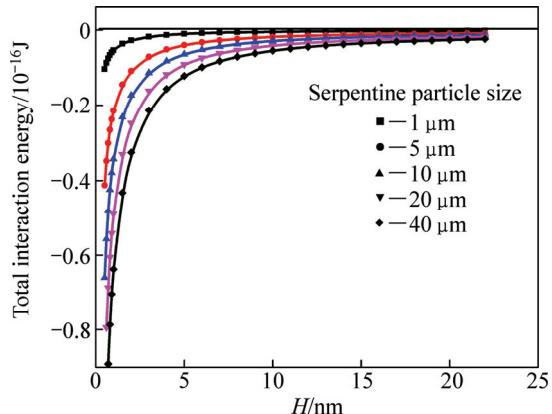


图 2 pH=9.0 时不同粒度蛇纹石与 15 μm 硼镁石颗粒间的总作用能

Fig. 2 Total interaction energy of serpentine with different serpentinite particle sizes and ascharite with size of 15 μm at pH 9.0

由图 2 可知, 不同粒度蛇纹石颗粒同硼镁石颗粒间总作用能为负值, 表明两种颗粒间相互吸引。因此, 颗粒间易发生团聚吸附作用, 从而使蛇纹石颗粒罩盖在硼镁石表面, 降低硼镁石可浮性。浮选过程中除了粒度以外, pH 值也会对浮选指标产生较大影响。不同 pH 值条件下, 微细粒蛇纹石颗粒与硼镁石颗粒间作用能也会产生变化。

当 pH=11.0 时, 蛇纹石表面电位 $\varphi_1=-55.50$ mV, 硼镁石表面电位 $\varphi_2=-31.93$ mV。此时, 矿物颗粒间作

用能如图3所示。

图3表明,当pH值为11.0时,颗粒间作用能在颗粒间距小于1 nm时为负值,此时粒度对作用能影响较小;当颗粒间距超出1 nm后,颗粒间作用能由负变正,此时矿浆中矿物颗粒的状态由相互吸引转变为相互排斥,从而蛇纹石颗粒同硼镁石颗粒在矿浆溶液中分散,且粗粒蛇纹石与硼镁石间分散效果更好。在1~5 nm距离内,颗粒间作用能存在一个明显的能垒,此时两种矿物颗粒间作用能较大,因此蛇纹石不易吸附于硼镁石表面,从而使浮选环境得到优化。随着矿物颗粒间距增大,颗粒间作用能开始减小,分散效果也逐渐减弱。

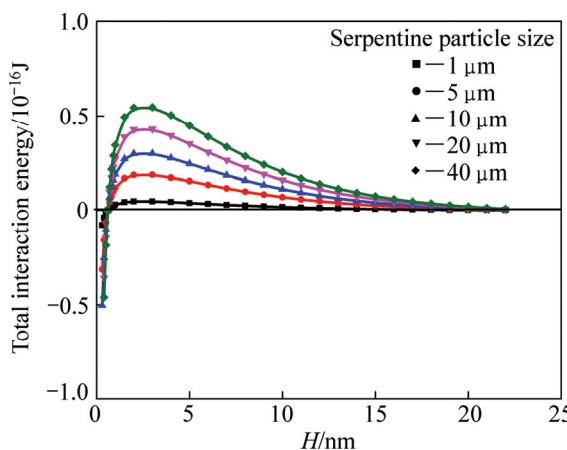


图3 pH=11.0时不同粒度蛇纹石同15 μm硼镁石颗粒间的总作用能

Fig. 3 Total interaction energy of serpentine with different serpentine particle sizes and ascharite with size of 15 μm at pH=11.0

3.2 蛇纹石颗粒间作用行为分析

在蛇纹石与硼镁石混合矿存在的体系中,不仅存在异种颗粒间的作用,同种颗粒间的相互作用也不可忽略。pH=9.0时不同粒度蛇纹石颗粒间作用能如图4所示。

图4表明,在pH为9.0条件下,不同粒度下蛇纹石颗粒间总作用能为负值,此时颗粒间呈团聚状态。所以在矿浆溶液中,蛇纹石不仅会同硼镁石颗粒发生吸附,自身颗粒间也能产生吸附团聚作用。当pH值发生改变后,蛇纹石颗粒间作用能如图5所示。

图5表明,pH为11.0时,蛇纹石颗粒间作用能为正,颗粒间相互排斥,使得蛇纹石颗粒呈分散状态,且粗粒蛇纹石颗粒间分散效果更好。随着颗粒间距增大,颗粒间分散效果减弱。

以10 μm 蛇纹石颗粒为例,对比在不同pH值条

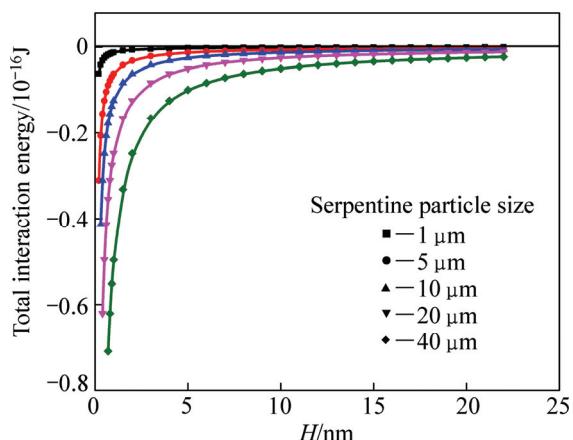


图4 pH=9.0时不同粒度下蛇纹石颗粒间的总作用能

Fig. 4 Total interaction energy of serpentine with different serpentine particle sizes at pH=9.0

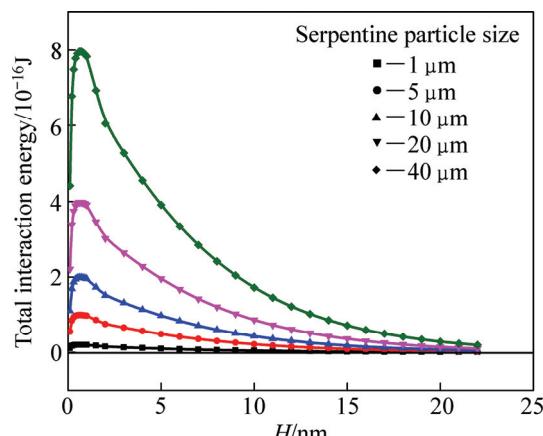


图5 pH=11.0时不同粒度蛇纹石颗粒间的总作用能

Fig. 5 Total interaction energy of serpentine with different serpentine particle sizes at pH=11.0

件下, V_W 、 V_E 的变化规律,分析究竟哪种作用能起到了主要作用,使得总作用能出现了不同的变化。其作用能变化规律分别如图6和7所示。

图6中,颗粒间静电作用能很小,近乎为0,于是 $V_W=V_T$ 。此时,颗粒间主要是范德华作用能起主要作用,因而出现了蛇纹石颗粒间相互吸引的现象。由图7可知,范德华作用能主要表现为吸引作用,而静电作用能表现为排斥作用。pH=11.0时,静电作用能强于范德华作用能,因此总作用能为正值。在图6中,静电作用能近乎为0主要是因为颗粒表面电位较小的缘故,实测蛇纹石零电点在9.2附近,此时表面电位也近乎为0,因此静电作用能基本不起作用。增大pH值后,蛇纹石表面电位迅速下降,静电作用能增大并起到主导作用。

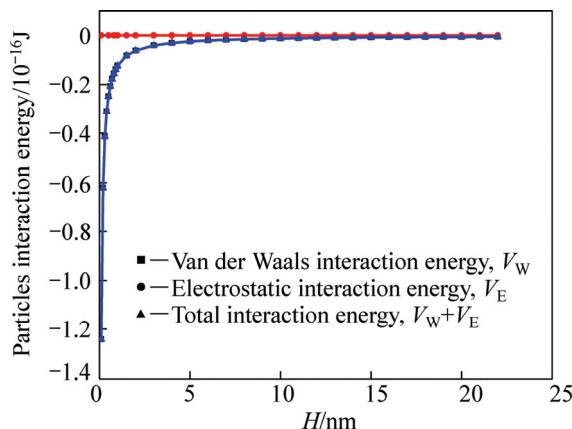


图 6 pH=9.0 时 10 μm 蛇纹石颗粒间的作用能

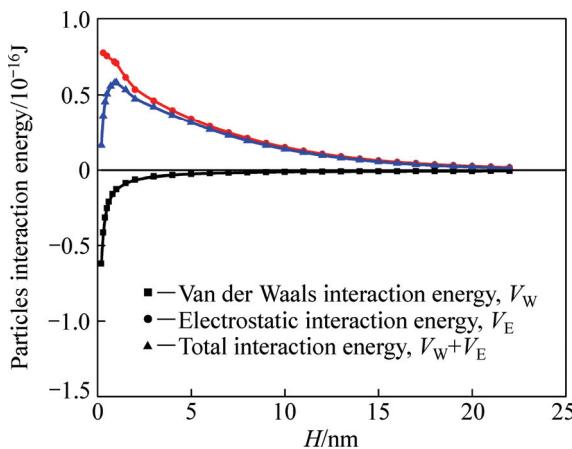
Fig. 6 Interaction energy of 10 μm serpentine at pH=9.0

图 7 pH=11.0 时 10 μm 蛇纹石颗粒间的作用能

Fig. 7 Interaction energy of 10 μm serpentine at pH=9.0

3.3 硼镁石颗粒间作用行为分析

pH=9.0 条件下不同粒度硼镁石颗粒间作用能如图 8 所示。不同粒度下蛇纹石颗粒间作用能为负值, 表明硼镁石颗粒间相互排斥。且粗颗粒间吸引作用较强, 细颗粒间吸引作用较弱。随着颗粒间距增大, 颗粒间作用能也逐渐减小。

pH=11.0 条件下不同粒度硼镁石颗粒间作用能如图 9 所示。当颗粒间距在小于 2.5 nm 或大于 12.5 nm 时, 不同粒度下颗粒间作用能为负值, 表面颗粒间相互吸引, 且较粗颗粒间相互作用能较强。当颗粒间距在 2.5~12.5 nm 时, 颗粒作用能均为正值, 此时硼镁石颗粒间由相互吸引转变为相互排斥, 且粗颗粒之间排斥作用较强。

以 10 μm 硼镁石颗粒为例, 研究了范德华作用能和静电作用能对硼镁石颗粒作用行为的影响, 分别如图 10、11 所示。由图 10 可知, pH=9.0 时静电作用能

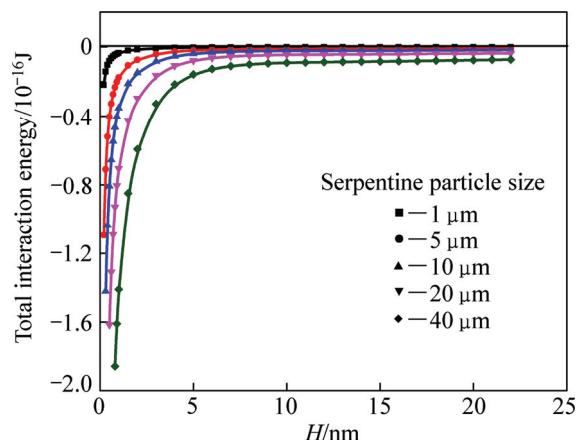


图 8 pH=9.0 时不同粒度硼镁石颗粒间总作用能

Fig. 8 Total interaction energy of ascharite with different ascharite particle sizes at pH=9.0

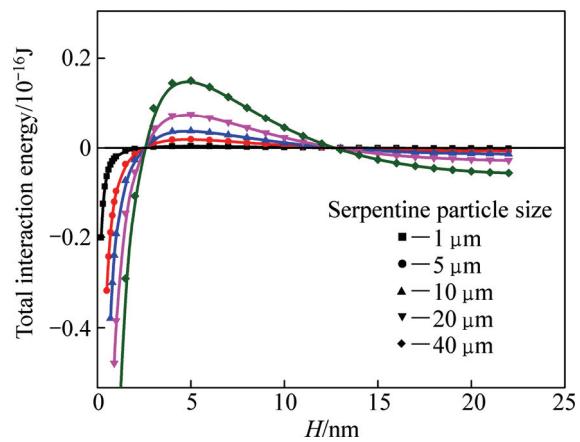


图 9 pH=11.0 时不同粒度硼镁石颗粒间总作用能

Fig. 9 Total interaction energy of ascharite with different ascharite particle sizes at pH=11.0

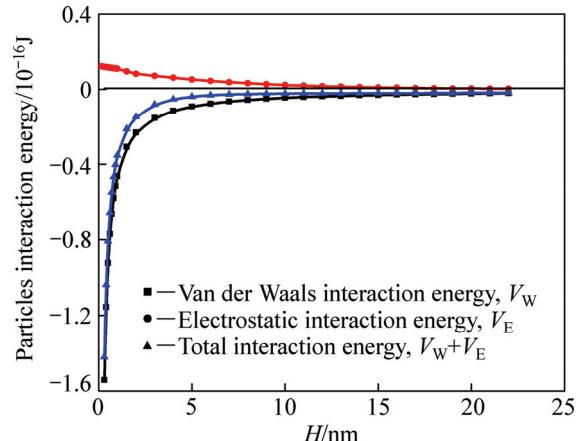


图 10 pH=9.0 时 10 μm 硼镁石颗粒间作用能

Fig. 10 Interaction energy of 10 μm ascharite with different ascharite particle sizes at pH=9.0

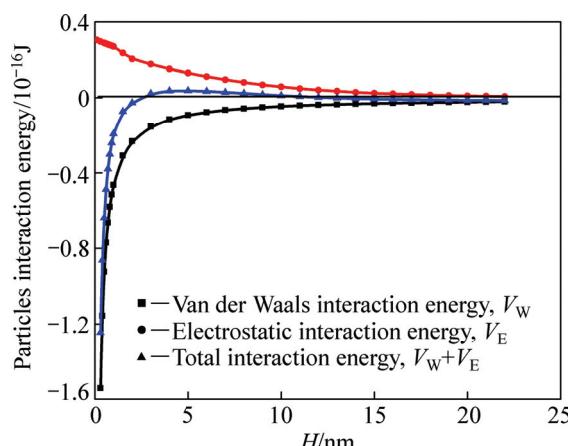


图 11 pH=11.0 时 10 μm 硼镁石颗粒间作用

Fig. 11 Interaction energy of 10 μm ascharite at pH=11.0

较小, 范德华作用能起主要作用, 此时硼镁石颗粒间宏观表现为相互吸引。当 pH=11.0 时, 颗粒间距在 0~2.5 nm 范围内范得华作用能起主要作用, 间距增大后静电作用能起主要作用, 于是总作用能为正值。此时, 颗粒间相互排斥, 但是排斥作用很弱。

3.4 沉降试验结果分析

蛇纹石、硼镁石及混合矿(质量比 1:1 混合)在不同条件下的沉降试验结果如表 2 所列。结果表明, pH 由 9 增大至 11 后, 蛇纹石及混合矿沉降率明显减小, 表明其分散效果增强, 与理论结果吻合。而硼镁石沉降率则变化不大。由图 11 可知, pH=11.0 时, 10 μm 硼镁石颗粒间排斥作用很弱, 因此分散效果不明显, 团聚作用依然占主导地位。根据沉降试验结果可知, 试验与理论计算结果是吻合的, 验证了理论计算结果的可靠性。

表 2 不同 pH 值下沉降试验结果

Table 2 Results of settlement test at different pH values

Mineral	Settlement rate/%	
	pH=9	pH=11
Serpentine	73.7	63.0
Ascharite	85.1	86.6
Mixture	88.3	80.9

4 结论

1) 在细粒蛇纹石与硼镁石浮选中, 由于矿物颗粒间作用能的影响, 矿物颗粒间易发生相互作用, 使得

矿物颗粒间产生不同的作用行为。矿物颗粒间作用能的大小随溶液 pH 值及颗粒粒度的变化而发生改变, 且颗粒间作用行为发生改变的根本原因是颗粒表面电位随 pH 值发生了改变。

2) pH=9.0 条件下, 蛇纹石同硼镁石颗粒间、蛇纹石同种颗粒之间及硼镁石同种颗粒之间的作用能均为负值, 表明不论同种矿物颗粒间还是异种矿物颗粒间, 在矿浆中都容易发生团聚吸附作用。

3) pH=11.0 条件下, 矿物颗粒间作用能随颗粒间距而变化, 且变化较为复杂。蛇纹石同硼镁石颗粒间、蛇纹石颗粒间总作用能为正值, 颗粒间相互排斥, 并且蛇纹石颗粒间排斥作用能明显较异种颗粒间作用能大, 因此蛇纹石颗粒更容易在矿浆中分散。

REFERENCES

- [1] 刘然, 薛向欣, 姜涛, 张淑会, 黄大威. 硼铁矿综合利用概况与展望[J]. 矿产综合利用, 2006(2): 33~37.
LIU Ran, XUE Xiang-xin, JIANG Tao, ZHANG Shu-hui, HUANG Da-wei. Comprehensive utilization of ludwigite and its prospect[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2006(2): 33~37.
- [2] 李治杭, 韩跃新, 高鹏, 应平. 硼铁矿工艺矿物学研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 258~262.
LI Zhi-hang, HAN Yue-xin, GAO Peng, YING Ping. Research on processing Mineralogical characterization of the paigeite ore[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2016, 37(2): 258~262.
- [3] 曹钊, 曹永丹, 桂富. 硼铁矿资源开发利用研究现状及进展[J]. 矿产综合利用, 2013(2): 17~20.
CAO Zhao, CAO Yong-dan, GUI Fu. Research status and process of the exploitation and utilization of paigeite ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2013(2): 17~20.
- [4] 李艳军, 韩跃新, 朱一民. 硼镁石浮选特性研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(7): 1041~1045.
LI Yan-jun, HAN Yue-xin, ZHU Yi-min. Study on the characteristic of camsellite flotation[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2007, 28(7): 1041~1045.
- [5] LU Y P, ZHANG M Q, FENG Q M, LONG T, OU L M, ZHANG G F. Effect of sodium hexametaphosphate on separation of serpentine from pyrite[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(1): 208~213.
- [6] 卢毅屏, 张明洋, 冯其明, 欧乐明, 张国范. 蛇纹石与滑石的同步抑制原理[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(2): 560~565.
LU Yi-ping, ZHANG Ming-yang, FENG Qi-ming, OU Le-ming, ZHANG Guo-fan. Sync-suppression principle of serpentine and

- talc[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(2): 560–565.
- [7] FENG B, FENG Q M, LU Y P. A novel method to limit the detrimental effect of serpentine on the flotation of pentlandite[J]. International Journal of Mineral Processing, 2012, 114: 11–13.
- [8] YIN W Z, WANG J Z. Effects of particles size and particle interactions on scheelite flotation[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(11): 3682–3687.
- [9] 张 涛, 梁海军, 薛向欣. 辽宁凤城含铀硼铁复合矿分选研究[J]. 材料与冶金学报, 2009, 8(4): 241–245.
ZHANG Tao, LIANG Hai-jun, XUE Xiang-xin. Elementary researches on Liaoning Fengcheng uranium-bearing B-Fe complex ore separation[J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2009, 8(4): 241–245.
- [10] 赵瑞超, 韩跃新, 杨 光, 李艳军. 细粒菱铁矿、石英、赤铁矿吸附团聚的机理[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 596–600.
ZHAO Rui-chao, HAN Yue-xin, YANG Guang, LI Yan-jun. Mechanism of adsorption and aggregation of fine siderite, quartz and hematite[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2015, 36(4): 596–600.
- [11] WANG C Q, WANG H, GU G H, FU J G, LIN Q Q, LIU Y N. Interfacial interactions between plastic particles in plastics flotation[J]. Waste Management, 2015, 46: 56–61.
- [12] 卢寿慈, 翁 达. 界面分选原理及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992: 130–134.
LU Shou-ci, WENG Da. The principle and application of interface separation[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1992: 130–134.
- [13] 任 俊, 沈 健, 卢寿慈. 颗粒分散科学与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 66–74.
- REN Jun, SHEN Jian, LU Shou-ci. Particles dispersion science and technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 66–74.
- [14] LU J W, YUAN Z T, LIU J T, LI L X, ZHU S. Effects of magnetite on magnetic coating behavior in pentlandite and serpentine system[J]. Mineral Engineering, 2015, 72: 115–120.
- [15] FENG B, LU Y P, FENG Q M, ZHANG M Y, GU Y L. Talc-serpentine interactions and implication for talc depression[J]. Minerals Engineering, 2012, 32: 68–76.
- [16] 冯 博, 冯其明, 卢毅屏. 绿泥石与黄铁矿的异相凝聚机理[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(1): 14–19.
FENG Bo, FENG Qi-ming, LU Yi-ping. Mechanism of hetero-aggregation of chlorite and pyrite[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2015, 46(1): 14–19.
- [17] 卢毅屏, 龙 涛, 冯其明, 欧乐明, 张国范. 微细粒蛇纹石的可浮性及其机理[J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(8): 1493–1497.
LU Yi-ping, LONG Tao, FENG Qi-ming, OU Le-ming, ZHANG Guo-fan. Flotation and its mechanism of fine serpentine[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2009, 19(8): 1493–1497.
- [18] 夏启斌, 李 忠, 邱显扬, 戴子林. 六偏磷酸钠对蛇纹石的分散机理研究[J]. 矿冶工程, 2002, 22(2): 51–54.
XIA Qi-bin, LI Zhong, QIU Xian-yang, DAI Zi-lin. Investigation of action mechanism between sodium hexametaphosphate and serpentine[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2002, 22(2): 51–54.
- [19] FENG B, LU Y P, LUO X Q. The effect of quartz on the flotation of pyrite depressed by serpentine[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2015, 4(1): 8–13.

Mechanism of agglomeration and dispersion during flotation process of serpentine and ascharite

LI Zhi-hang, HAN Yue-xin, LI Yan-jun, GAO Peng

(School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: During the flotation process with serpentine in the pulp, serpentine is prone to form slime and absorb to the surface of other minerals, leading to decrease of floatability of target minerals. In the process of ascharite flotation, serpentine has significant influence on ascharite recovery. The aggregation and dispersion phenomenon in the pulp, and the mechanism of particles interaction between serpentine and ascharite were investigated based on DLVO theory. The results show that both particle size and pH value of pulp can influence the particles interaction behavior, and the latter is the main influence factor. The basic reason is that the surface charges can be changed by pH values. In different pH value, particles assume different flotation behaviors. At pH of 9.0, aggregation occurs in the same particles of serpentine and ascharite particles, and it also happens between serpentine and ascharite particles; at pH of 11.0, particles interaction is extremely complicated, particles interaction behaviors vary with particles distance. Dispersion occurs while the ascharite particle distance between 2.5 and 12.5 nm. However, while the particle distance of less than 2.5 nm or larger than 12.5 nm, agglomeration is dominated.

Key words: serpentine; ascharite; flotation; agglomeration; dispersion; DLVO theory

Foundation item: Project (51204033) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (L2014088) supported by Liaoning Province Education Department, China

Received date: 2016-01-04; **Accepted date:** 2016-06-02

Corresponding author: HAN Yue-xin; Tel: +86-24-83680162; E-mail: dongdafulong@mail.neu.edu.cn

(编辑 龙怀中)